©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Ein Blick auf die aperiodischen Wärmeänderungen der Gebirgsquellen

Von

Fritz Kerner-Marilaun

korr. Mitglied d. Akad. d. Wiss.

(Vorgelegt in der Sitzung am 19. Juni 1941)

Die Vier- bis Achtjährigkeit der Messungen von Quellentemperaturen des Sommers, welche ich im Laufe vieler Jahre im Gschnitztale (Brennergebiet) vorgenommen habe, ermöglichte es, einen ersten kurzen Blick auf die aperiodischen Wärmeänderungen der Gebirgsquellen zu tun. Sie zählen zu den noch am wenigsten erforschten Phänomenen der alpinen Hydrophysik. Es standen vier Messungsreihen zur Verfügung, welche — soweit sie über die periodische Schwankung der Quellenwärme Aufschluß gaben — schon ausführlich erörtert worden sind.[1] Die Ziffern- und Buchstabenbezeichnung der Quellen im folgenden entspricht jener in diesen Arbeiten.

Quellen am Nordhang des Steinacher Joches.

Von den 70 am Nordhang des Steinacher Joches betreffs ihrer Thermik von mir untersuchten Quellen wurden 31 in den Jahren 1923 bis 1926 an den Monatsenden Juni bis September gemessen. Sie kamen so als Grundlage für eine kurze vergleichende Betrachtung der aperiodischen Veränderlichkeit der Gebirgsquellentemperaturen in Betracht. In Tabelle I bedeuten w die mittlere Abweichung, v den Spielraum (die numerische Summe der zwei größten Abweichungen) der Termintemperaturen im Durchschnitt der vier Messungstermine, W die mittlere Abweichung, V den Spielraum der Sommertemperaturen (Mittel der vier Termintemperaturen), u den Gesamtspielraum der Termintemperaturen

[1] Fritz Kerner-Marilaun: Anisothermie in Quellhorizonten und ihre geologische Deutung. Diese Sitzber., 141. Bd., 5. bis 7. Heft, 1932. Der Einfluß der Schneeschmelze auf den Wärmegang der Gebirgsquellen. Diese Sitzber., 147. Bd., 1. und 2. Heft, 1938. Das Wärmebild der Quellen eines Bergabhanges in den Alpen. Diese Sitzber., 148 Bd., 1. und 2. Heft, 1938. Analysis des jährlichen Wärmeganges von Gebirgsschuttquellen. Diese Sitzber., 150. Bd., 1. und 2. Heft 1941.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

im vierjährigen Messungszeitraum, I, II, III und IV die Abweichungen der Sommertemperatur in den einzelnen Jahrgängen (1923 bis 1926). Die Bezeichnung der Quellen entspricht ihrer Numerierung in meiner Schrift: Das Wärmebild der Quellen eines Bergabhanges in den Alpen. Alle Abweichungen und Spielräume sind in Zentigraden angegeben.

Tabelle I.

Nr.			W	V		I	II	III	IV
6	23	66	18	42	164	—14	—22	+15	+20
15	19	55	7	25	117	— 2	—13	+ 2	+12
16	6	20	4	12	52	— 1	+ 2	+ 6	— 6
19	25	73	24	66	200	+ 4	+42	—24	—24
20	31	88	26	87	188	— 8	+44	—43	+ 8
24	36	112	36	106	217	—15	+71	—35	—21
25	11	31	4	12	138	— 2	+ 7	0	— 5
29	15	39	12	31	178	— 8	+14	+11	—17
31	22	63	16	45	134	+ 8	+25	—20	—12
32	37	81	11	37	255	+20	— 4	—17	+ 2
33	20	70	10	35	270	— 3	+19	— 2	—16
35	16	56	12	38	145	+ 3	— 8	+21	—17
36	19	58	11	36	156	— 3	—16	+20	— 3
38	36	107	14	41	235	+15	+14	—26	— 2
39	10	40	4	12	91	+ 5	+ 3	— 3	— 5
41	11	33	4	14	74	+ 5	— 9	+ 2	+ 1
44	15	44	12	35	194	+ 5	+20	— 9	—15
45	19	58	12	35	187	+ 6	+16	—19	— 5
46	29	85	10	31	240	+19	—12	— 7	— 2
57	31	95	31	93	242	—15	+61	—16	—32
58	46	122	36	111	291	—27	+70	—41	— 4
59	34	103	16	43	377	—21	—11	+11	+22
60	25	69	3	7	183	— 3	+ 2	+ 4	— 3
61	9	22	5	11	40	— 4	— 5	+ 6	+ 4
62	8	24	2	6	39	— 4	— 1	+ 2	+ 2
63	10	27	5	16	54	— 2	— 6	+10	— 2
64	6	18	2	7	29	— 3	— 2	+ 4	0
67	7	20	6	16	54	— 2	+ 7	+ 4	— 9
68	30	88	25	79	205	—14	+42	+ 7	—37
69	32	90	20	77	168	— 2	+38	+ 2	—39
70	9	27	6	18	94	+ 5	+ 8	— 2	—10

Zunächst ist eine mittlere Beziehung der aperiodischen Veränderlichkeit der Quellenwärme zur periodischen — in diesem Falle zur Differenz zwischen der Temperatur zu Ende Juni und dem herbstlichen Maximum — aufzuzeigen, bei der großen relativen Wertspannung der Sommertemperatur, 2° bis 6°, aber

auch eine solche zu dieser (zum Mittel der vier Terminwerte). Bezeichnet man die vorige Differenz mit D, die Sommertemperatur mit T, so erhält man durch Ausgleichsrechnung als einfachste Relationen:

$$w' = 0 \cdot 171\ D \qquad W' = 0 \cdot 048\ T$$
$$v' = 0 \cdot 516\ D \qquad V' = 0 \cdot 140\ T.$$

Zur Beurteilung der Bedingnisse der aperiodischen Veränderlichkeit der Quellentemperaturen sind die Differenzen zwischen den nach diesen Formeln bestimmten und den beobachteten Werten der Veränderlichkeit dienlich. Sie sind in den vier letzten Spalten der Zahlentafel II angeführt. Die besagte Beurteilung erheischt als Vorerfahrung aber auch eine Kenntnis des Verhaltens der Quellen betreffs ihrer periodischen Veränderlichkeit selbst. In ihren ersten fünf Kolumnen enthält Tabelle II: h die Seehöhe der Quellen, T ihre Sommertemperatur (richtiger: Temperatur des wärmsten Jahresdrittels), D die periodische Sommeramplitude (von Ende Juni bis zum Maximum), t die Differenz zwischen der nach der Formel

$$T' = 8 \cdot 227 - 5 \cdot 21\ h$$

bestimmten und der beobachteten Sommertemperatur, d die Differenz zwischen dem Gesamtmittel von D (aus allen 31 Quellen) und D. Diese zwei Differenzwerte kennzeichnen in einfachster Form das Verhalten der Quellen betreffs ihrer periodischen Wärmeänderung. Die Sommeramplitude ist — insoweit sie von der Tiefe des Wurzelgeflechtes abhängt — in erster Annäherung als eine von der Seehöhe unabhängige Größe zu betrachten. Dann kommt bei der Darstellung von über ein Höhenintervall verstreuten Amplituden durch die Abweichungen von ihrem Durchschnittswert (in diesem Falle 1·04) ihre Verteilung nach der Höhe befriedigend zum Ausdruck.

Während die periodische Wärmeschwankung der Gebirgsquellen zunächst von der durchschnittlichen Bodentiefe ihres Wurzelgeflechtes und von der Bedeckungsart ihres Einzugsgebietes abhängt, ist die aperiodische Veränderlichkeit der Quellenwärme vor allem durch die Dichtigkeit der Lagerung der Bodenteilchen beeinflußt. Von ihr hängt es ab, ob die aus dem Wechsel trüben und sonnigen Wetters erwachsenden Wärmewellen — soweit sie durch das in den Boden eindringende Wasser weitergeleitet werden — nur abgestumpft oder völlig abgeflacht zu den Quelladern gelangen. Während sich bei der Gestaltung mittlerer thermischer Verhältnisse die Raschheit der Wärme- oder Kälteverfrachtung

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

in die Tiefe nur wenig auswirkt, ist sie bei der Formung der fallweisen sommerlichen Wärmebewegung sehr von Belang.

Inwieweit so das Verhalten der Quellen in betreff ihrer aperiodischen Veränderlichkeit zu dem bezüglich ihrer periodischen

Tabelle II.

Nr.	$\frac{h}{1000+}$	T	D	t	d	$W—W'$	$V—V'$	$w—w'$	$v—v'$
6	294	5·94	78	— 75	— 26	— 6	—17	+10	+26
15	504	5·21	55	— 39	— 49	— 6	—18	+10	+27
16	508	4·71	30	— 87	— 74	—17	—46	+ 1	+ 5
19	525	5·29	114	— 20	+ 10	— 1	— 1	+ 6	+14
20	538	5·52	99	+ 10	— 5	+ 4	+11	+14	+37
24	552	5·70	118	+ 35	+ 14	+ 8	+32	+16	+51
25	553	4·81	112	— 54	+ 8	—12	—36	— 8	—27
29	581	5·68	133	+ 48	+ 29	—12	—40	— 8	—30
31	651	4·86	94	+ 3	— 10	— 2	— 5	+ 6	+14
32	651	5·64	162	+ 81	+ 58	+10	— 2	+ 9	— 3
33	660	5·31	218	+ 53	+114	— 6	— 4	—17	—42
35	681	5·24	97	+ 56	— 7	— 9	—17	0	+ 6
36	681	5·28	109	+ 60	+ 5	— 7	—16	0	+ 2
38	708	5·80	136	+126	+ 32	+ 8	+26	+13	+37
39	716	3·75	64	— 75	— 40	— 8	—12	— 1	+ 7
41	720	3·19	41	—129	— 63	— 4	—12	+ 4	+12
44	734	4·55	148	+ 15	+ 44	— 7	—20	—10	—32
45	742	4·58	146	+ 22	+ 42	— 3	— 6	— 6	—17
46	743	4·65	156	+ 29	+ 52	+ 6	+20	+ 2	+ 5
57	912	3·64	121	+ 17	+ 17	+13	+44	+10	+33
58	928	4·02	176	+ 63	+ 72	+26	+66	+16	—31
59	931	3·70	301	+ 32	+197	+16	+51	—17	—48
60	931	3·54	134	+ 16	+ 30	+ 8	+19	+ 2	0
61	1010	1·93	4	—103	—100	0	— 5	+ 5	+20
62	1019	2·76	20	— 16	— 84	— 5	—15	+ 5	+14
63	1019	2·82	31	— 10	— 73	— 4	—12	+ 5	+11
64	1023	1·90	11	— 90	— 93	— 3	— 9	+ 4	+12
67	1064	2·40	41	— 28	— 63	— 5	—14	0	— 1
68	1064	3·20	127	+ 52	+ 23	+15	+43	+ 8	+22
69	1065	3·02	85	+ 34	— 19	+17	+48	+17	+46
70	1079	2·35	74	— 25	— 30	— 2	— 6	— 4	—11

Änderungen in Gegensatz tritt, zeigt ein Vergleich der sechs letzten Spalten unserer zweiten Tabelle. Der Kürze halber seien die Werte der Spalten 5 und 6 mit A, jene von 7 und 8 mit B und jene von 9 und 10 mit C zusammengefaßt. Die Werte von B nehmen, wie man sieht, eine Mittelstellung ein, indem sie hinsichtlich des Vorzeichens sich teils so wie jene von A, teils so wie jene von C verhalten. Sie stehen ihrer Bildungsweise nach zwischen beiden.

Die Quellen 41, 61, 62, 63 und 64, bei welchen sich *B* wie *A* verhält und *A* negativ ist, entspringen aus großer Tiefe in oberkarbonischem Quarzkonglomerat, dessen Klüfte und Sprünge mit für Wasser leicht durchlässigem Quarzgrus und Grobsand erfüllt sind. Ähnlich verhalten sich die Quellen 6, 15, 16 und 19, welche mit tiefwurzelndem Adergeflecht aus einem in großer Mächtigkeit den Gebirgsfuß einhüllenden Mantel von heterogenem Schutte entspringen. Die auch aus dem Karbon kommenden Quellen 44 und 45, bei welchen sich *B* wie *C* verhält und dieses negativ ist, haben der Bodenoberfläche genäherte Wurzelgeflechte; in ihrem Umkreis liegen Anthrazitschiefer bloß, so daß die Gesteinsklüfte mit für Wasser schwer durchlässigem Schiefermulm verstopft sind. In ihrem Verhalten ähnlich zeigen sich die Quellen 29 und 33, welche in mäßiger Tiefe aus sehr dicht gelagertem Quarzphyllitschutte entspringen. Von den Quellen, bei welchen *A*, *B* und *C* positiv sind, entspringen 46, 57, 58, 60, 68 und 69 ziemlich oberflächennahe aus Quarzkonglomerat, 20, 24 und 38 aus lockerem Quarzphyllitschutt; bei letzteren dreien mag ein Teil der Adern schon vor ihrem Austritte ganz nahe unter der Bodenoberfläche verlaufen. Die Quellen 67 und 70, bei welchen *A*, *B* und *C* negativ, entspringen aus Quarzphyllit mit dicht gelagerter Verwitterungsdecke. Der topischen Sachlage nach möchte man auch die Quellen 25 und 39 hieher stellen, obschon bei ihnen je einer der sechs in Betracht gezogenen Werte positiv aufscheint.

35 und 36 nähern sich — weil die Werte von *C* nahe bei Null bleiben — in ihrem Verhalten den Quellen, bei welchen *A* positiv, *B* und *C* negativ sind. Es scheint, daß am Aufbau des Schuttmantels, aus dem sie entspringen, von höher oben lagerndem Anthrazitschiefer stammender Schiefermulm viel Anteil nimmt. 31 nähert sich in ihrem Verhalten den Quellen mit *A* und *B* negativ, *C* positiv, 32 den Quellen, bei welchen alle drei betrachteten Wertpaare positiv abweichen. Sie kommen aus verwittertem Quarzphyllit. Durch Verknüpfung positiver Werte von *A* und *B* mit negativen von *C* fällt Nr. 59 auf; sie nimmt auch durch ungewöhnlich hohe Werte von *D* und *d* eine Sonderstellung ein.

Quellreihe beim Trinser Wasserfalle (in der Schlucht „in den Höllen").

Eine zweite Reihe von mir durchgeführter Messungen von Quellentemperaturen umfaßte die Sommer von sechs aufeinandergefolgten Jahrgängen: 1918 bis 1923. Diese Messungen fanden halbmonatlich von Mitte Juni bis Ende September statt, sohin

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

gegenüber der vorigen Reihe die Zahl der Messungsjahre um die Hälfte vermehrt, die Zahl der Messungstermine verdoppelt. Diese Messungsreihe bot Gelegenheit festzustellen, inwieweit die nicht periodische Veränderlichkeit innerhalb einer auf engen Raum beschränkten Ausbildung des Quellenphänomens Verschiedenheiten aufweist. Betreffs ihrer periodischen Schwankungen erwiesen sich die Glieder dieser Reihe als so bemerkenswert verschieden, daß mir Anlaß zu einer besonderen Mitteilung geboten schien.[1]

Die folgende Zahlentafel enthält die mittleren Abweichungen der gemessenen Temperaturen vom sechsjährigen Mittel in Zentigraden.

Tabelle III.

Quelle	Mitte Juni	Ende Juni	Mitte Juli	Ende Juli	Mitte Aug.	Ende Aug.	Mitte Sept.	Ende Sept.	Mittel
I	3	4	7	5	3	4	5	5	5
II	2	4	5	2	2	5	6	5	4
III	7	9	12	15	15	16	12	9	12
IV	2	5	8	7	6	6	5	4	5
V	5	4	6	10	5	7	6	6	6
VI	7	8	8	10	5	5	6	7	7
VII	7	6	7	9	4	3	6	8	6
VIII	7	8	8	9	7	10	9	10	8
IX	10	21	23	13	15	21	23	16	18
X	5	8	8	6	7	7	7	8	7
XI	4	7	7	10	9	10	9	8	8
XII	10	12	16	14	12	9	10	6	11
XIII	9	13	17	13	13	10	10	6	11
XIV	15	15	15	16	14	13	12	9	14
Mittel	7	9	11	10	8	9	9	8	9

Anschließend seien die Mittelwerte der Spielräume der gemessenen Temperaturen innerhalb der sechsjährigen Beobachtungszeitspanne mitgeteilt.

I	II	III	IV	V	VI	VII
19	16	43	21	21	26	26
VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV
30	63	24	29	43	44	49

[1] Dr. Fritz Kerner-Marilaun: Anisothermie in Quellhorizonten und ihre geologische Deutung. Diese Sitzber., 141. Bd., 5. bis 7. Heft, 1932.

Die mittleren Spielräume der Termintemperaturen sind:

Mitte Juni	Ende Juni	Mitte Juli	Ende Juli	Mitte August	Ende August	Mitte Sept.	Ende Sept.
26	30	37	36	34	33	33	30

Zwecks Beurteilung des Verhaltens der aperiodischen Veränderlichkeit waren auch hier einfachste mittlere Relationen zwischen ihr und der periodischen Schwankung abzuleiten:

$$w' = 0{\cdot}174\ D \qquad \varphi' = 0{\cdot}650\ D$$

$$w'' = 0{\cdot}201\ D \qquad \varphi'' = 0{\cdot}757\ D$$

w' und φ' aus allen Quellen, w'' und φ'' bei Ausschluß der von den durchschnittlichen Verhältnissen stärker abweichenden Quellen erhalten.

Als Differenzen zwischen den beobachteten und den nach den vorigen Formeln bestimmten Werten der aperiodischen Veränderlichkeit erhält man:

Quelle	$w-w'$	$w-w''$	$v-v'$	$v-v''$	Quelle	$w-w'$	$w-w''$	$v-v'$	$v-v''$
I	0	— 1	+ 2	— 5	VIII	+ 1	0	+ 3	— 1
II	+ 3	+ 3	+ 7	+11	IX	+12	+11	+39	+35
III	+ 7	+ 6	+25	+22	X	0	— 2	— 5	— 9
IV	+ 2	+ 1	+ 9	+ 7	XI	— 3	— 5	—13	—19
V	+ 2	+ 1	+ 5	+ 3	XII	— 3	— 5	—10	—19
VI	+ 4	+ 4	+16	+15	XIII	— 3	— 6	—10	—18
VII	+ 1	0	+ 8	+ 4	XIV	— 1	— 3	— 5	—13

Quelle IX ist das Ausfallstor eines in obertags trockener schutterfüllter Rinne subterran fließenden Bächleins. Quelle III bringt großenteils sehr oberflächennah sich sammelnde Wässer zu tage. Die relativ geringe aperiodische Veränderlichkeit der Quellen XI bis XIV entspricht den wegen der durch Beimischung von Bachwasser bedingten großen periodischen Schwankung erwachsenden hohen berechneten Werten von w' und φ'. Anderseits spiegelt sich in den größeren positiven Werten der Differenz Beobachtung—Rechnung bei Quelle II und VI die sehr geringe periodische Schwankung dieser Quellen wider. (Quelle II fast konstant.)

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Die folgende Zahlentafel bringt die Abweichungen der Sommertemperaturen (der Mittel der acht Terminmessungen) vom sechsjährigen Mittel in den einzelnen Jahrgängen und deren Durchschnitt (W) sowie die Spielräume der Sommertemperaturen im sechsjährigen Beobachtungszeitraum.

Tabelle IV.

Quelle	18	19	20	21	22	23	W	V
I	— 3	— 9	+ 5	+ 1	+ 3	0	4	14
II	— 3	— 4	+ 4	— 3	+ 6	— 1	3	10
III	— 6	— 5	0	— 3	+ 1	+15	5	21
IV	— 2	— 7	+ 1	— 1	+ 1	+10	4	17
V	— 2	— 9	0	+ 6	0	+ 4	3	15
VI	— 9	—11	+ 9	+ 4	+ 3	+ 2	6	20
VII	— 5	—10	+ 5	+ 1	+ 8	— 1	5	18
VIII	— 8	—13	+12	+ 5	+ 7	— 5	8	25
IX	—19	—21	+29	+ 7	+16	—13	17	50
X	— 6	—14	+ 7	+ 5	+ 6	0	6	21
XI	— 4	—17	— 1	+12	+ 1	+ 7	7	29
XII	— 3	—23	+ 6	+19	+ 4	— 2	9	42
XIII	— 4	—22	+ 6	+20	+ 4	— 3	10	42
XIV	— 5	—24	+ 5	+23	+ 7	— 3	11	47
Mittel	— 5	—14	+ 6	+	+ 5	+ 1	7	27

Im Anschlusse die mittleren Abweichungen der Durchschnittstemperaturen der Quellreihe vom sechsjährigen Mittel und die Spielräume der Quellreihemittel:

Mitte Juni	Ende Juni	Mitte Juli	Ende Juli	Mitte Aug.	Ende Aug.	Mitte Sept.	Ende Sept.
6	8	8	8	6	6	7	6
20	28	31	31	22	17	20	23

Die mittlere Sommertemperatur zeigt bei Quelle IX auch eine große aperiodische Veränderlichkeit, wogegen bei III eine Ausgleichung der Werte. Große Werte von W und V ergeben sich bei der mittleren Sommertemperatur auch für die periodisch relativ stark schwankenden Quellen mit Beimischung von Bachwasser. (XII bis XIV.)

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Das durch die zuweilen bis in den Juli verspätete Nachwirkung der Schneeschmelze bedingte Maximum der aperiodischen Veränderlichkeit in diesem Monat und deren den thermisch mehr ausgeglichenen Verhältnissen im Herbst entsprechendes Minimum in letzterer Jahreszeit treten — wie bei den Abweichungen und Spielräumen der Termintemperaturen — auch bei den Spielräumen der Durchschnittstemperaturen des Quellhorizontes auf.

Sechs Glieder der eben besprochenen Quellreihe wurden schon in den Sommern 1905 und 1909 um die Monatsmitten und Monatsenden gemessen. Da sich diese zwei Jahrgänge abweichend verhielten, durch ihren Einbezug die Veränderlichkeitswerte somit eine Verschiebung erfahren, stellen die für die acht Sommer umfassende Reihe erhaltenen Zahlen keine ungefähre Wiederholung der für die sechsjährige gewonnenen dar. Sie verdienen so angeführt zu werden, um so mehr, als es sich um die längsten aller zustande gebrachten Reihen handelt. Die folgende Tabelle bringt die mittleren Abweichungen der Termintemperaturen vom achtjährigen Mittel:

Tabelle V.

Quelle	Mitte Juni	Ende Juni	Mitte Juli	Ende Juli	Mitte Aug.	Ende Aug.	Mitte Sept.	Ende Sept.	Mittel
II	6	11	8	9	9	9	9	9	9
IV	12	12	10	9	13	10	9	8	10
VI	9	8	7	13	9	12	10	11	10
IX	10	17	23	23	25	28	27	23	22
XI	12	15	17	17	19	20	17	14	16
XIII	12	14	19	18	19	21	16	15	17
Mittel	10	13	14	15	16	17	15	13	14

Die mittleren Spielräume der vorigen Temperaturen sind:

Mitte Juni	Ende Juni	Mitte Juli	Ende Juli	Mitte Aug.	Ende Aug.	Mitte Sept.	Ende Sept.
47		53	60	59	58	58	55

Die Abweichungen der Sommertemperaturen von den aus acht Sommern gebildeten Mitteln in den einzelnen Jahrgängen sind:

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Tabelle VI.

Quelle	1905	1909	1918	1919	1920	1921	1922	1923
II	+17	+11	— 8	— 9	— 1	— 8	+ 1	— 6
IV	+17	+16	— 9	—13	— 5	— 8	— 5	+ 4
VI	+15	+ 5	—12	—13	+ 6	+ 1	0	— 1
IX	+26	+21	—26	—28	+21	0	+ 9	—20
XI	+54	+12	—15	—28	—12	+ 1	—10	— 4
XIII	+43	+ 7	—12	—32	— 3	+10	— 5	—11
Mittel	+29	+12	—14	—21	+ 1	— 1	— 2	— 6

Für die mittleren Abweichungen (W) und die Spielräume der Sommertemperaturen in den acht Beobachtungsjahren (V) erhält man:

	II	IV	VI	IX	XI	XIII
W	10	13	9	25	23	21
V	26	30	28	54	82	75

Die im Vergleich zu den Durchschnittswerten der Zeitspanne 1918 bis 1923 hohen Temperaturen der Jahrgänge 1905 und 1909, welche es bedingen, daß sich die Werte jener Zeitspanne in der achtjährigen Reihe (der mittleren Abweichungen) statt zu 0 zu —7 ausgleichen, läßt den Gedanken aufkommen, daß es sich da um den Ausdruck einer negativen Wärmeänderung, die den ganzen Horizont betraf, handeln könnte. Es kommen im Laufe von Jahren kleine Ergiebigkeitsänderungen von Quellreihen und Quellgruppen vor. Solche könnten fallweise auch durch eine Mengenzunahme der aus höheren Lagen zusickernden Wässer bedingt sein. Die Gestaltung des Thermoklimas möchte die fraglichen Anomalien nicht aufklären. Im Jahre 1905 waren Juni und Juli wohl um 1 bis 2° wärmer als im Mittel, im Sommer 1909 blieben die Lufttemperaturen aber um ungefähr ebensoviel unternormal.

Quellreihe am Burgweg unterhalb des Padailgrabens.

Bei einem Blick auf die aperiodische Veränderlichkeit kommt beim Vorliegen einer sieben- und einer dreijährigen Messungsreihe nur die erstere in Betracht. Daß die letztere fast doppelt so viel

Glieder umfaßt, spielt kaum eine Rolle, weil die hinzukommenden betreffs der thermischen Verhältnisse nichts Neuartiges bieten.

Die folgende Zahlentafel VII bringt die mittleren Abweichungen der Terminbeobachtungen vom siebenjährigen Durchschnitt und die Mittelwerte für die einzelnen Quellen und für die Messungstermine.

Tabelle VII.

Quelle	Mitte Juni	Ende Juni	Mitte Juli	Ende Juli	Mitte Aug.	Ende Aug.	Mitte Sept.	Ende Sept.	Mittel
β	35	37	40	32	36	31	25	16	31
β'	37	37	40	32	35	32	29	18	33
ζ	33	34	39	32	31	32	22	18	30
ζ'	33	30	33	33	35	27	24	24	30
η	35	33	34	35	33	29	26	20	31
η'	32	27	26	25	24	28	24	18	26
ϑ	20	23	26	26	25	27	22	17	23
	21	24	23	28	36	23	13	17	23
	10	16	22	37	30	22	16	18	21
κ	8	14	19	23	20	16	15	13	16
Mittel	26	28	30	30	31	27	22	18	26

Die Mittelwerte der Temperaturspielräume der Quellen und der Messungstermine sind:

β	β'		ζ	ζ'	η	η'	ϑ		
130	133	129	125	130	103	102	88	77	69

Mitte Juni	Ende Juni	Mitte Juli	Ende Juli	Mitte Aug.	Ende Aug.	Mitte Sept.	Ende Sept.
100	130	137	122	112	105	84	79

Eine Ableitung des Verhaltens der aperiodischen zur periodischen Veränderlichkeit ergibt die Ausdrücke:

$$w' = 0 \cdot 323\ D \qquad v' = 1 \cdot 332\ D.$$

Entsprechend der Einförmigkeit des Quellhorizonts betreffs seiner periodischen Thermik bietet auch die aperiodische Veränderlichkeit keine Besonderheiten dar. Sie folgt angenähert der

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

periodischen Schwankung, wie die geringen Differenzen zwischen den beobachteten und den nach der obigen Formel berechneten Werten der mittleren Abweichung bezeugen (w—w'):

β	β'	δ	ζ	ζ'	η	η'	ϑ		
—2	0	+2	+2	+6	0	—2	0	—3	—3

Die Abweichungen der Sommertemperaturen (Mittel der acht Terminwerte) vom siebenjährigen Mittel in den einzelnen Jahrgängen und die Durchschnittswerte dieser Abweichungen (W) sowie die Spielräume der Sommertemperaturen in den sieben Beobachtungssommern (V) enthält die folgende Tabelle:

Tabelle VIII.

Quelle	1905	1909	1918	1919	1920	1935	1936	W	V
β	+74	0	—22	—54	+ 6	0	— 6	23	128
β'	+77	— 3	—21	—54	+ 3	+ 4	— 5	24	131
δ	+80	— 1	+ 3	—14	—22	—47	— 2	24	127
ζ	+76	+ 5	—20	—47	— 9	— 2	— 6	24	123
ζ'	+82	+ 4	—19	—42	—11	— 2	— 7	24	124
η	+63	+ 4	—16	—40	— 5	0	— 5	19	103
η'	+63	+ 5	—15	—39	— 6	0	— 8	19	102
ϑ	+51	+17	—13	—32	—14	+ 5	—13	21	83
	+41	+ 2	—10	—31	—22	+19	— 2	18	72
	+41	+ 2	— 6	—27	—14	+ 4	— 2	14	68

Anschließend die mittleren Abweichungen der Durchschnittstemperaturen des Quellhorizonts vom siebenjährigen Mittel und die Spielräume der Horizontmittel:

Mitte Juni	Ende Juni	Mitte Juli	Ende Juli	Mitte Aug.	Ende Aug.	Mitte Sept.	Ende Sept.
24	25	28	28	27	26	21	18
99	130	137	122	112	105	80	76

Die aperiodische Veränderlichkeit der mittleren Sommertemperaturen zeigt ein ähnliches Verhalten wie die periodische Schwankung. Sie läßt sich durch die Ausdrücke:

$$W = 0{\cdot}255\,D \text{ und } V = 1{\cdot}303\,D$$

wiedergeben, wobei die Differenzen zwischen Beobachtung und Rechnung klein bleiben. Für die mittleren Abweichungen der Sommertemperaturen $W—W'$ erhält man:

β	β'	δ	ζ		η	η'	ϑ		
—3	—2	+2	+2	+4	—1	—1	+3	—1	—1

Eine Darstellung von W und V durch die Sommertemperaturen (T') selbst, wie sie bei den Steinacherjochquellen geschah, kommt hier nicht in Frage. Daß sich die Durchschnittstemperatur der Quellreihe im Juli am meisten, im Herbste am wenigsten aperiodisch veränderlich zeigt, ist in derselben Weise wie bei den anderen zwei Quellhorizonten zu erklären.

Quellreihe oberhalb der Mündung des Val Schwern.

Den halbmonatlichen lückenlosen Messungen von sieben Gliedern dieser Reihe von Mitte Juni bis Ende September in den Jahren 1918 und 1919 und 1934 bis 1936 waren bei drei Quellen schon halbmonatliche Messungen in den Sommern 1905 und 1909 vorausgegangen. Da die damaligen Messungsstellen mit den späteren aber nicht identifizierbar sind und ein paar Quellen, deren aperiodische Thermik größeres Interesse hat, sich nicht unter den 1905 und 1909 gemessenen befinden, schien der Vorteil, um zwei Jahrgänge mehr vergleichen zu können, durch den Nachteil, vier Quellen weniger zum Vergleich verfügbar zu haben, wettgemacht. Darum eine Beschränkung der Betrachtung auf die späteren fünf Messungsjahre. Die folgende Tabelle IX enthält die mittleren Abweichungen der Terminbeobachtungen und ihre Durchschnittswerte für die einzelnen Quellen und für die Messungstermine.

Tabelle IX.

Quelle	25. VI.	10. VII.	25. VII.	10. VIII.	25. VIII.	10. IX.	25. IX.	Mittel
D'	8	9	11	12	11	10	9	10
D	10	9	9	10	11	7	12	10
C'	8	8	12	14	15	11	12	11
C	9	13	9	7	12	7	11	10
A'	17	24	24	19	17	10	12	18
B	8	13	10	6	9	4	7	8
A	22	25	19	23	18	12	19	20
Mittel	12	14	13	13	13	9	12	12

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Die Mittelwerte der Temperaturspielräume der Quellen und der Messungstermine sind:

D'	*D*	*C''*	*C*	*A'*	*B*	*A*
32	36	41	38	61	33	71
25. VI.	10. VII.	25. VII.	10. VIII.	25. VIII.	10. IX.	25. IX.
47	54	47	46	48	27	42

Die aperiodische Veränderlichkeit ist bei den aus lockerem Schutt kommenden und in ihrer Stärke sehr wechselnden Quellen (*A* und *A'*) doch nur doppelt so groß als wie bei den aus dichter gelagerten Schichten tiefer entspringenden. Daß sie dagegen bei den Quellen mit sehr geringer periodischer Schwankung (*D* und *D'*)[1] ebenso groß ist wie bei denen mit zwei bis dreimal größerer Schwankung, hängt damit zusammen, daß bei der thermischen Aperiodizität abnorme Schneefälle eine große Rolle spielen.

Das bei den Werten von *W* nur wenig, bei denen von *V* schon deutlich erkennbare Maximum vor Mitte Juli und Minimum vor Mitte September spiegeln die um die erstere Jahreszeit verspätet auftretende Nachwirkung der Schneeschmelze und die um die letztere Zeit platzgreifende Ausgeglichenheit der thermischen Einflüsse wider.

Tabelle X.

Quelle	1918	1919	1934	1935	1936	*W*	*V*
D'	— 7	—18	+10	+10	+ 4	10	28
D'	— 2	—19	+ 7	+ 3	+ 5	8	27
C''	+ 7	— 9	— 2	+10	— 4	6	19
C	+ 2	— 8	+ 4	+ 6	— 5	5	14
A'	—12	—20	+12	+20	— 1	13	40
B	— 3	—17	+12	+ 4	+ 3	8	29
A	— 4	—10	+11	+13	—11	10	24
—	— 3	—14	+ 8	+ 9	— 1	—	—

[1] Die Differenzen zwischen den fünfjährigen Mitteln der höchsten und tiefsten Termintemperaturen sind: *D'* und *D* 14 und 17, *C'* und *C* 44 und 38, *B* 27, *A'* und *A* 59 und 72. Die Mittelwerte der Temperaturspielräume der gemessenen Quellen stimmen so — ausgenommen *D'* und *D* mit den periodischen Amplituden — zufällig fast überein.

Die Abweichungen der Sommertemperaturen vom fünfjährigen Mittel in den einzelnen Jahrgängen und die Durchschnittswerte dieser Abweichungen (W) sowie die Spielräume (V) bringt die vorstehende Zahlentafel X.

Die mittleren Abweichungen der Durchschnittstemperaturen der Quellreihe vom fünfjährigen Mittel sowie die Spielräume der Quellreihemittel sind:

25. VI.	10. VII.	25. VII.	10. VIII.	25. VIII.	10. IX.	25. IX.
9	12	12	11	12	3	8
39	49	47	44	44	8	25

Bei der sehr stärkeschwankenden Quelle A' ist wohl auch die aperiodische Veränderlichkeit der Sommertemperaturen größer als bei den Nachbarquellen, bei dem Wildbachursprung A ist V aber sogar kleiner als bei der tiefer sich sammelnden Quelle B. Es spricht sich darin eine große Kompensationsmöglichkeit der Terminwerte bei der Bildung der Sommermittel aus. Das bei den Quellentemperaturen sich zeigende Maximum der aperiodischen Veränderlichkeit von Mitte Juli ist bei den Durchschnittstemperaturen der Quellreihe abgestumpft, das Minimum vor Mitte September zugespitzt sichtbar.

Ein Vergleich der Abweichungen der Quellentemperaturen mit denen der Luftwärme, Regenmenge und Bewölkung von den aus denselben Jahrgängen abgeleiteten Mittelwerten ließ sich leider nicht durchführen, weil die Beobachtungsgrundlagen unvollständige sind. Im Jahrbuch der meteorologischen Zentralanstalt schied Trins mit Ende des Jahres 1919 aus der Reihe der Beobachtungsstationen aus und das Jahrbuch des hydrographischen Zentralbureaus stellte mit Ende 1922 sein Erscheinen ein. Überraschende Korrelationen würde ein solcher Vergleich allerdings nicht ergeben. Von vielen Faktoren abhängige Vorgänge können mit dem Verlauf einzelner dieser Faktoren nicht in der Erwartung verglichen werden, daß sich ihre Gestaltung deutlich widerspiegle und nur in der Absicht, festzustellen, inwieweit eine Widerspiegelung denkbar sei.